

## Claims Description

**In situ sensor for near wafer particle monitoring in semiconductor device manufacturing equipment**

Patent Number: ☐ EP0837315, A3  
Publication date: 1998-04-22  
Inventor(s): BONON MICHAEL P (US); HOLVE DONALD J (US)  
Applicant(s):: INSITEC INC (US)  
Requested Patent: ☐ JP10213539  
Application Number: EP19970118147 19971020  
Priority Number(s): US19960735383 19961021  
IPC Classification: G01N15/02  
EC Classification: G01N15/02B  
Equivalents: ☐ US5943130

**Abstract**

A particle sensor for a semiconductor device fabrication tool scans a laser beam through a measurement volume immediately adjacent a wafer during processing and detects light scattered by particles adjacent the wafer. Scanning provides a real-time count of particles without interfering with processing. Detected light can be forward-scattered, side-scattered, or back-scattered depending on available optical access for a detector portion of the sensor. A pulse in the intensity of scattered light results each time a particle is scanned. Because the scanning velocity is high relative to the particle velocity, each particle may be scanned several times while the particle is in the measurement volume. Analysis fits a series of pulses observed for a single particle to a Gaussian distribution to determine a size, position, and velocity for each particle and a time-resolved particle count of the particles. The detected positions of particles are stored for targeting subsequent surface scans of wafers to detect defects.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

TOP

**Claims**

E5847

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-213539

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月11日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> 識別記号G 0 1 N 21/27  
15/06  
15/14

F I

G 0 1 N 21/27  
15/06  
15/14B  
C  
P

審査請求 有 請求項の数34 F D (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-303565

(22) 出願日 平成9年(1997)10月17日

(31) 優先権主張番号 08/735, 383

(32) 優先日 1996年10月21日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 597155505

インサイテック, インコーポレーテッド  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94583 サン ラモン, オメガ ロード  
2110, スイート D

(72) 発明者 ミシェル ビー. ポニン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94550 リヴォモア, ピアンカ ウェイ  
5195

(72) 発明者 ドナルド ジェイ. ホルヴ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94526 ダンヴィル, ボビー コート 26

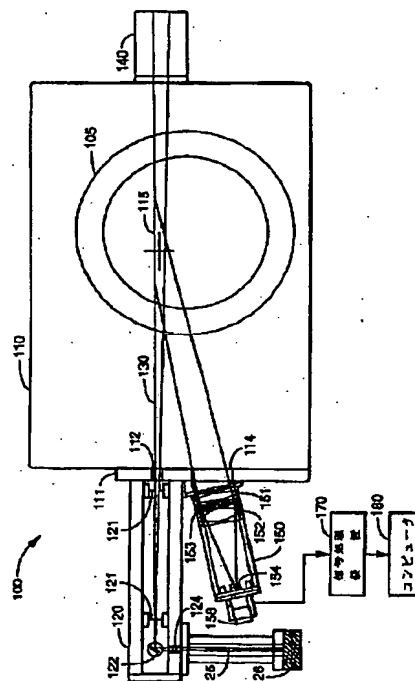
(74) 代理人 弁理士 内原 晋

(54) 【発明の名称】 半導体デバイス製造装置におけるウェーハ近傍微粒子の検出装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】半導体製造において、ウェーハ近傍における微粒子の存在をレーザ光の散乱により確実に検出し、製造装置の清浄化作業実施の時期の決定への情報とする。

【解決方法】半導体デバイス製造プロセス進行中にウェーハ105のすぐ近傍の測定体積115をレーザビーム130で走査する。この走査によって、上記進行中のプロセスに支障を及ぼすことなく微粒子のリアルタイム計数を行う。検出光はこのセンサの光検出部150へのアクセスの利用可能性に応じて前方散乱光、側方散乱光または後方散乱光とすることができる。微粒子が走査される度ごとに散乱光強度がパルス状になる。走査速度は微粒子の移動速度よりも大きいので、各微粒子は測定体積中を浮遊する間に数回にわたって走査される。一つの微粒子について生ずる一連のパルスを分析する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】測定体積を横切って照射する光ビームを送出する光送出器と、

光検出器と前記測定体積からの散乱光を集光してその光を前記光検出器に向ける光学系とを含み、その光検出器に向けられた光の強度を表す信号をその光検出器が発生するように構成した検出器と、

前記光検出器からの信号を分析するように相互接続され、前記光検出器からの信号の中のパルスを検出するパルス検出器と、微粒子に対応しその微粒子が前記測定体積の中を動く間の前記ビームによる複数回の照射に伴う前記微粒子による散乱光に起因する一連のパルスを特定する事象検出器とを含む信号処理手段とを含む微粒子センサ。

【請求項2】前記光学系が前記光検出器への光を通過させる開口を区画する絞りと、前記測定体積からの光を前記開口に集束するレンズ系とを含む請求項1記載の微粒子センサ。

【請求項3】前記レンズ系が前記測定体積内に第1の焦点を有する第1のレンズと、前記開口内に第2の焦点を有する第2のレンズとを含む請求項2記載の微粒子センサ。

【請求項4】前記光学系が前記ビームと等しい波長の光を通過させる帯域フィルタをさらに含む請求項2記載の微粒子センサ。

【請求項5】前記測定体積内を散乱することなく横切る前記走査ビームからの光を吸収するように配置したビームダンプをさらに含む請求項1記載の微粒子センサ。

【請求項6】前記ビームダンプが前記走査ビームからの光を前記光学系に向けて直接に反射させることがない外面を備える請求項5記載の微粒子センサ。

【請求項7】前記ビームダンプの開口が前記光学系の視野の外側にある請求項5記載の微粒子センサ。

【請求項8】前記光学系が前記ビームと等しい波長の光を通過させる帯域フィルタを含む請求項1記載の微粒子センサ。

【請求項9】前記光送出器が前記ビームを発生するレーザと、そのビームを前記測定体積に向けて反射するように配置し可動的に取り付けた走査用反射鏡とを含み、その走査用反射鏡の動きによって前記測定体積を横切って前記ビームで照射するように構成した請求項1記載の微粒子センサ。

【請求項10】前記走査用反射鏡が共振走査用反射鏡を含む請求項9記載の微粒子センサ。

【請求項11】前記走査用反射鏡が回転反射鏡を含む請求項9記載の微粒子センサ。

【請求項12】前記光送出器が前記測定体積の中の一つの点とそれ自身との間の光路長と等しい焦点距離を有する集束レンズをさらに含む請求項9記載の微粒子センサ。

【請求項13】測定体積を横切って光ビームで照射する光送出器であって、その光ビームの動きを制御する駆動回路を含む光送出器と、

光検出器と前記測定体積からの散乱光を集光してその光を前記光検出器に向ける光学系とを含む検出器であって、前記光検出器によりその光検出器に向けられた光の強度を表す信号を生ずるように構成した検出器と、前記光検出器からの信号を分析するように相互接続した信号処理手段であって、前記検出器に接続され前記光検出器からの信号のうち閾値レベル以上の信号に応答してその信号の中のパルスを検出する弁別器と、前記弁別器および前記駆動回路に接続され前記測定体積中の微粒子に起因する一連のパルスの終了を検出する事象検出論理回路とを含む信号処理手段とを含む微粒子検出器。

【請求項14】前記信号処理手段が前記微粒子に起因する一連のパルスを特徴づける情報から微粒子の大きさを特定するのに適合したコンピュータをさらに含む請求項13記載の微粒子検出器。

【請求項15】前記コンピュータが前記一連のパルスを特徴づける前記情報をさらに処理して前記光送出器に対する前記微粒子の動径方向位置および角度方向位置を算定する請求項14記載の微粒子検出器。

【請求項16】前記コンピュータが前記一連のパルスのピーク値を前記ビームの強度の分布特性、すなわちそのピーク値が前記微粒子の大きさを表す分布特性に合致させることによって算定する請求項14記載の微粒子検出器。

【請求項17】前記測定体積が製造中のデバイスのごく近傍にある請求項1記載の微粒子センサ。

【請求項18】反応室と、その反応室の内部で製造中のデバイスのごく近傍の測定体積を横切って光ビームで照射する光送出器と、光検出器と前記測定体積からの散乱光を前記光検出器に向ける光学系とを含み、その光検出器によって入射光強度表示信号を生ずる検出器と、前記検出器からの信号を分析するように接続された信号処理装置とを含む半導体デバイス製造装置。

【請求項19】前記反応室が前記光検出器からの光を通過させる開口を有し、その開口を通じて前記光送出器の内部が前記反応室の内部の環境に露出している請求項18記載の半導体デバイス製造装置。

【請求項20】前記検出器の中の前記光学系が前記測定体積からの後方散乱光を前記光検出器に向けるように配置されている請求項18記載の半導体デバイス製造装置。

【請求項21】前記検出器の中の前記光学系が前記測定体積からの側方散乱光を前記光検出器に向けるように配置されている請求項18記載の半導体デバイス製造装置。

【請求項22】前記検出器の中の前記光学系が前記測定

体積からの前方散乱光を前記光検出器に向けるように配置されている請求項18記載の半導体デバイス製造装置。

【請求項23】反射鏡をさらに含み、前記検出器が前記光送出器の近傍に取り付けられており、前記反射鏡が前記光送出器からの光を前記測定体積に向けて反射させるように配置されている請求項22記載の半導体デバイス製造装置。

【請求項24】前記光送出器が前記ビームを発生するレーザと、前記ビームを集束するように配置された集束レンズと、前記ビームを前記測定体積に向けて反射させるように配置された振動反射鏡とを含む請求項18記載の半導体デバイス製造装置。

【請求項25】被加工物の加工の進行中にその被加工物の近傍の測定体積を光ビームで走査する過程と、前記測定体積からの散乱光を検出する過程と、前記測定体積の中の微粒子を特定するように前記散乱光の強度の変化を分析する過程とを含む製造方法。

【請求項26】前記散乱光の強度の変化を分析する過程が前記強度の中のパルスを前記強度の中の背景雑音から弁別する過程と、前記測定体積の中の微粒子による散乱光に対応する一連のパルスを特定する過程と、前記一連のパルスから前記微粒子の大きさを算定する過程とを含む請求項25記載の製造方法。

【請求項27】前記微粒子の大きさを算定する過程が前記ビームの断面内強度分布関連の分布を前記一連のパルスのピーク値に合致させることと、前記ピーク値への分布合致値から前記微粒子の大きさを算定することを含む請求項26記載の製造方法。

【請求項28】前記分布合致値の幅から前記微粒子の速度成分を算定することをさらに含む請求項27記載の製造方法。

【請求項29】前記散乱光の強度の変化を分析する過程が前記強度の中のパルスを前記強度の中の背景雑音から弁別する過程と、前記ビームによる第1の方向の走査の際に前記測定体積の中の微粒子で散乱した光に対応する第1のパルスを特定する過程と、前記ビームによる第2の方向の走査の際に前記測定体積の中の微粒子で散乱した光に対応する第2のパルスを特定する過程と、前記第1および第2のパルスの時間間隔から前記微粒子の円周方向位置を算定する過程とを含む請求項25記載の製造方法。

【請求項30】前記散乱光の強度の変化を分析する過程が

前記強度の中のパルスを前記強度の中の背景雑音から弁別する過程と、

前記パルスの少なくとも一部の時間長を計測する過程と、

前記パルスの時間長と前記ビームの角速度とから前記微粒子の動径方向位置を算定する過程とを含む請求項25記載の製造方法。

【請求項31】微粒子の堆積を受ける前記被加工物の表面上の領域を特定するように前記散乱光の強度を分析する過程と、

前記被加工物の表面上の前記領域を欠陥検出のために走査する過程とをさらに含む請求項25記載の製造方法。

【請求項32】前記被加工物が半導体ウェーハである請求項25記載の製造方法。

【請求項33】前記信号処理手段が前記一連のパルス対応の前記微粒子の速度を算定する手段をさらに含む請求項1記載の微粒子センサ。

【請求項34】前記信号処理手段が前記一連のパルス対応の前記微粒子の大きさを算定する手段をさらに含む請求項1記載の微粒子センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は微粒子センサに関し、より詳しくいうと光による走査と散乱光の検出とを利用した微粒子センサに関する。

【0002】

【発明が解決しようとする課題】プラズマエッチング室や蒸着室などの半導体製造装置の中の異物微粒子は半導体ウェーハ表面に堆積して製造上の欠陥を誘発し製品の良品率を低下させることがあり得る。したがって、これら装置の中の異物微粒子を避けるために細心の注意が払われている。にも拘わらず、一つのバッチの半導体デバイスを処理すると上記装置中に異物微粒子が生じ、それら微粒子によって後続のバッチの半導体デバイスに欠陥が誘発され得るので、それら装置の保守、すなわち清浄化を定期的に行ってそれら異物微粒子を除去している。欠陥品発生率が許容不可能な水準に達するのを防止するために必要なときだけ保守作業を行うことにすれば望ましい。保守作業が頻繁に必要である場合は、非稼働時間が長くなり生産数量が低下する。

【0003】保守作業の実施スケジュールは処理したバッチ数に従って定め、同作業の実施間隔内の処理バッチ数を固定し不良品発生率の許容最大値に対応させる。しかし、この手法では、固定期間ごとの保守作業を清浄化が必要となる前に実施する可能性があり、装置非稼働時間が不必要に長くなる。また、保守作業の頻度が十分でないために不良品発生率が許容値を超えることもあり得る。デバイス試験またはウェーハ表面検査で不良品発生率の増加が検出されたときだけ保守作業を実施することもできる。しかし、その場合は、試験検査の結果が判明

する前に数バッチ分の高不良品率の製品が処理されてしまう。上記装置のポンプ系における微粒子数が高くなったときに保守作業を開始する手法もある。この手法の不利な点はポンプ系の微粒子数とウェーハ表面での欠陥発生率との間に相関がない場合もあり得ることである。そのために、保守作業の必要性の表示が不正確になる可能性がある。

【0004】改良された手法はプロセス進行中にウェーハ表面近傍の微粒子を検出する。この手法は反応室内部の環境に対応可能で製造プロセスに悪影響を及ぼさない微粒子センサを必要とする。この微粒子センサはウェーハのごく近傍で直径1マイクロメートル以下の微粒子を通常プラズマの介在の下で検出する必要がある。ウェーハ表面近傍の比較的大きい体積をサンプルしなければならない。すなわち、ウェーハ表面全体にわたる異物微粒子分布はプロセス進行中一様のままではなく、ウェーハ表面近傍における異物微粒子分布は通常低いからである。さらに、ユーザに使いやすくするために、センサは検出微粒子の各々について粒度、速度、位置の情報を発生する必要がある。半導体製造中の異物微粒子原位置検出に対するこれら要求すべてを満たす微粒子センサはこれまでのところ市販されていない。

【0005】

【課題を解決するための手段】この発明によると、プロセス進行中にウェーハのごく近傍の異物微粒子を検出する微粒子センサを提供できる。この微粒子センサはウェーハのごく近傍の一定体積の空間をレーザビームで走査し、そのビームが異物微粒子にあたって散乱した散乱光を検出する。走査された空間と検出器実像との交線の形成する測定体積の中の微粒子からの散乱光の一部の強度をその検出器で計測する。次に、その強度を分析して、光ビームのあたった微粒子の各々の物理的特徴を算定する。走査ビームを制御するとともに散乱光を検出する光学系は迷光の抑止および阻止を最大にするように最適化してある。この最適化は上記検出の出力信号の信号対雑音比を許容可能な値にするために重要である。

【0006】レーザビームの走査速度は上記測定体積の中の微粒子の通常速度に比べて高いので、通常の微粒子は測定体積内にある間にいくつかの散乱光パルスが発生させる。これら複数のパルスは単一パルス検出の場合に比べて測定精度を高める。一つの微粒子からの一連の散乱光パルスの分析によってその微粒子の直径、位置および速度を算定できる。一つの微粒子についてのパルスの各々の継続時間はその微粒子の動径座標を表す。走査範囲の限界を基準としたそれらパルスのタイミングはその微粒子の角座標を表す。これら動径情報および角度情報を走査用反射鏡回転位置表示信号と組み合わせて上記測定体積中の微粒子の位置を算定できる。走査平面と垂直な軸の方向の微粒子速度は、一つの微粒子散乱事象を構成するピーク値の集合から算定できる。これら散乱光

強度ピーク値は微粒子により散乱した走査ビームの（上部、中間部および下部の）断面の強度に通常は比例する。したがって、強度ピーク値の変動が走査ビームの直径を横切る方向の微粒子の動きと速度とを表す。走査平面と垂直な方向の微粒子速度は散乱事象を構成する強度ピーク値への最近似値から算定する。この最近似値は通常は走査ビームの動径方向強度分布のガウス分布特性である。ある分布に合致させると、個々の測定における光雑音および電子雑音の影響を減らすことができる。

【0007】一つの実施例では、微粒子センサに走査器と検出器と信号処理装置とを備える。走査器は測定体積を横切って光ビームで走査するものであり、ビームを発生して反応室内の測定体積に導くレーザおよび走査用反射鏡を備える。検出器は散乱光を集光し、測定体積から特定方向に散乱した光の強度を表す信号を発生する。この検出器は後方散乱光、側方散乱光、または前方散乱光を検出するように配置する。

【0008】所望の散乱光を背景光から分離するために、この検出器は測定体積からの光を光検出器開口経由で集束する光学系を備える。測定体積の外部からの光はこの開口経由では鮮明には集束されず、所望の散乱光に比べて強度が低い。走査ビームの光の波長を選択できる帯域フィルタで所望信号に対する背景光信号のレベルをさらに低下させる。走査ビームの非散乱光成分をビームダンパで吸収して、走査ビーム光波長の背景光を高める可能性のある迷光反射をさらに抑えることもできる。

【0009】この粒子センサを半導体製造装置の一部として組み入れる際には多様な構成を採用することができる。例えば、一つ以上の検出器を反応室の互いに異なる位置に取り付けて後方散乱光、側方散乱光または前方散乱光を検出するように構成することができ、また反射鏡やそれ以外の光学素子を用いて走査器近傍配置の検出器で前方散乱光を検出するように走査ビームを反射させることもできる。

【0010】検出器からの信号の処理および分析により検出微粒子の粒度、位置および速度を算定する。欠陥品発生の原因となる異物微粒子の検出と測定によって、不良品発生率を高精度でリアルタイムで算定でき、半導体製造装置の保守管理の効率を高めることができる。微粒子センサからの情報、とくに欠陥品発生の原因を成す微粒子のウェーハに対する位置の情報は、ウェーハ上の欠陥検出のための後続の表面走査の標的決定に使うことができる。したがって、この微粒子センサによって製造プロセスの初期段階における欠陥検出を改善できる。

【0011】添付図面を参照した次の詳細な説明によって、この発明はより明確に理解されよう。

【0012】

【発明の実施の形態】この発明の一つの実施例によると、微粒子センサはレーザビームでそのビームがプロセス進行中の半導体製造装置内のウェーハ表面のごく近傍

を通過するように測定体積を走査する。この走査によって、光ビームは製造プロセスに影響を及ぼすことなくウェーハ表面のすぐ上の幅1cm以上の比較的大きい測定体積をサンプルする。検出器はその測定体積からの後方散乱光、側方散乱光、または前方散乱光を集光してその測定体積内にある微粒子を検出する。集光のための結合構造は半導体製造装置で利用可能な光学的アクセスでほぼ定まる。走査ビームの光波長での光の強度を表す検出器出力信号を背景雑音除去のために分析し、直径約0.15マイクロメータまでの個々の微粒子を計数する。測定体積中で検出されたそれら微粒子の粒度、位置および速度も算定できる。

【0013】図1は反応室110とこの発明の一実施例による微粒子センサとを備える半導体製造装置100を示す。この微粒子センサは反応室110内のウェーハ105の表面近傍の測定体積115をレーザビーム130で走査する光送出器120と、測定体積115内の微粒子で散乱した光を集光する検出器150とを備える。この発明の一つの側面によると、レーザビーム130による走査が測定体積115を検出微粒子の粒度に比べて大きくしている。より詳細に述べると、測定体積115の大きさは、ビーム130の振れの範囲、ビーム130の直径および検出器150の開口の大きさで定まる。この発明のもう一つの側面によると、微粒子の計数は半導体製造プロセスに何ら影響を及ぼすことなくウェーハ105の近傍について行われる。すなわち、光送出器120および検出器150が反応容器110の外壁にウェーハから離して取り付けられているからである。

【0014】光送出器120内ではレーザ126がレーザビーム130を発生し、そのビーム130を走査用反射鏡122が反応室110に向ける。このレーザビーム130、すなわち走査ビーム130の波長は反応室110内に発生する背景光との混同を最小限に抑えるように選んだ特有の波長である。上記背景光の発生源には、プラズマ利用プロセスに用いるプラズマや高温プロセスで生ずる熱に起因する発光（黒体放射）などがある。実施例の実例を挙げると、レーザ126は例えば約480nm乃至670nmの範囲の短波長の高出力レーザダイオードまたは波長488nmの空冷アルゴンイオンレーザで構成する。レーザ126からの光は対象微粒子の粒度に応じてコリメータで平行光線にするかレンズで集束して用いることもできる。

【0015】この実施例において、レーザ126からのレーザビームは集束レンズ124にまず導かれる。レンズ124の焦点距離は走査ビームを測定体積115の中心近傍に集束するように選んである。この実施例では、レンズ124は、ニューポートオプティカル（Newport Optical）社製K PX094型レンズ、すなわち直径25.1mmで波長488nmの光に対する焦点距離100mmのMgF<sub>2</sub>被膜付き平面-凸面レンズで構成し

た。さらに高精度の集束が必要な場合は色消しレンズを用いることもできる。

【0016】反射鏡122の振れにより測定体積115を走査ビーム130で往復走査する。反射鏡122駆動用の電子回路の動作パラメータにより走査用反射鏡122の振れの範囲を制御し、それによって測定体積115の一つの方向における操作を制御する。実施例では、反射鏡122は振れ角度最大値 $\pm 15^\circ$ で振動周波数4KHzの共振走査反射鏡で構成してある。この反射鏡122としては、ジェネラルスキャニング社（General Scanning, Inc.）製CRS4型対向回転式共振走査器にGSI CRSドライバーボードを組み合わせたものが適している。共振走査器よりも長い寿命を必要とする用途については回転走査器を用いることもできる。走査用反射鏡122は、所望の走査角度範囲内に収まらない迷光の吸収のために黒く塗ったアルミニウム板などの光吸収材料で構成したバッフル121を通じて、レーザ光を測定体積115に向ける。

【0017】走査ビーム130は反応室110の壁の気密封止光学窓112を通じて反応室110に入射する。光送出器120の内部を反応室110と同じ環境にする開口を窓112の代わりに用いることもできる。窓112を開口で置換した実施例においては、光送出器120を気密封止して反応室110内の所望のガスを保持し、光送出器120内の部品を反応室110からの反応物への露出に耐えられる材料で構成する。窓112を用いると送出器120内の部品は上記と同程度の耐用期間を有する必要はないものの、この窓112によってビーム130の光が散乱し反応室110の内部の背景光が増加する。背景光の増加は検出可能な微粒子の粒度の最小値を大きくすることになり望ましくない。窓112のよる迷光の発生を抑えるために開口を窓112の内側面またはその近傍に設けることができる。

【0018】ビームダンプ140はとくに偏向を受けることなく測定体積115を通過してきた光ビーム130の光を吸収することによって背景光を抑える。ビームダンプ140はビーム130の非散乱光成分の入射を受け入れる開口と同非散乱光成分の吸収を最大にする内部結合構成とを備える。しかし、ビームダンプ140の外側の角度方向配置を最適化することは検出器150で集光される迷光を最小に保つのに重要である。より詳細に述べると、この外側の結合構成は光送出器120から反応室110への入射光がビームダンプ140の外側で反射して検出器150に直接に導かれることがないように構成でなければならない。迷光の検出をさらに抑えるために、検出器150の集光光学系の視野にビームダンプ140の開口が含まれないようにする。ビームダンプ140は反応室110の内側に設けることもでき、また検出対象の微粒子が比較的大きい場合や反応室110の外壁からの反射光が検出器150に達する可能性が低い場合

などのように背景光が問題にならない場合は省略してもよい。

【0019】測定体積115内の微粒子にあたった走査ビーム130の光の一部は散乱して散乱光強度測定用の検出器150に達する。走査ビーム130に対する散乱光のコヒーレント性は仮定しておらず、また必要でもない。検出器150には、反応室110の内部の環境から光学素子（レンズ151および152、帯域フィルタ153および開口154）を保護するために気密封止した窪み型光学窓114を備える。反応室110の窓が適切な位置に配置してある場合は検出器150のための別の窓は不要である。レンズ151および152は窓114を通じて検出器150に入射する光を集束する。より詳細に述べると、測定体積115からの光は開口154經由で光検出器158に明確に集束される。反応室110のプラズマの発生する背景光、またはビーム130から測定体積115の外側に散乱した背景光も光学窓114を通過するが、光検出器158に集束される背景光はほとんどない。したがって、そのような背景光の強度は測定体積115で散乱した光の強度に比べて小さい。

【0020】レンズ151および152の直径は窓114の直径に合致するように選び、これらレンズの焦点距離は検出器150から測定体積115までの距離および検出器150内で利用可能なスペースにしたがってほぼ定める。実施例では、レンズ151は焦点距離250mmで直径38.1mmのMgF<sub>2</sub>被膜付き色消しレンズニューポートオプティカル社製PAC079型レンズで構成し、レンズ152では焦点距離76.2mmで直径38.1mmのニューポートオプティカル社製PAC070型レンズで構成する。

【0021】これらレンズ151および152の間には帯域フィルタ153が配置してあり、走査ビーム130特有の波長以外の波長の光を除去することによって背景光をさらに減らす。走査ビーム130の光波長488nmの実施例ではフィルタ153はオメガオプティカル製の488BP5型干渉フィルタで構成し、488nm±3nmの範囲の波長の光を阻止する。背景光レベルが低い場合はフィルタ153の帯域幅を7nm以上に大きくできる。帯域幅を7nmまで大きくすると、所望波長における入射光の約50%まで光透過が増加する。

【0022】開口154は測定体積115の大きさを制御する。実施例では開口154は約3mm幅のスリットである。これ以外の寸法および形状の開口を用いて測定体積を大きくしたり小さくしたりすることができる。

【0023】浜松ホトニクス社製R5600U型光電子増倍管など慣用の光電子増倍管で構成できる光検出器158は集光した光の強度を表すアナログ信号を発生し、その信号を信号処理装置170に供給する。この信号処理装置170は約1MHz以上および100Hz以下の周波数の電子雑音を除去する帯域フィルタを備える。ま

た、信号処理装置170は散乱事象を特定し、アナログ信号の形で受けた散乱光検出力のパルスのピーク値、パルス幅およびパルスのタイミングを表すデジタル信号をコンピュータ180に供給する。コンピュータ180はIBM互換の486以上のコンピュータで構成され、信号処理装置170からの情報を分析し測定体積115内の微粒子の粒度、位置および速度を算定するコンピュータプログラムを実行する。上記以外の分析についてはさらに後述する。

【0024】図1の実施例においては、光送出器120および検出器150を反応室110の外壁に直接に取り付けた支持フレーム111に搭載してある。光送出器120および検出器150が互いに隣接して配置されているので、検出器150は測定体積115内でほぼ後方散乱した光を集光する。検出器150は、測定体積115からの側方散乱光または前方散乱光を検出するように反応室110の上記以外の外壁に送出器120とは離して取り付けることもできる。また、送出器120一つあたり二つ以上の検出器150を設けて多点計測を行うこともできる。

【0025】図2はもう一つの製造装置200を示し、この装置においては光送出器120の近傍に取り付けた検出器150で測定体積215からの前方散乱光（散乱角約5°乃至10°）を計測する。製造装置200の構成要素のうち図1を参照して上に述べたものと同一のものは図1と同じ符号で示し、説明は省略する。

【0026】製造装置200と製造装置100との主な相違点は反応室110の内部に反射鏡270を追加したことである。反射鏡270は検出器150の焦点範囲内にある測定体積215に向けて走査ビームを反射させる。レンズ124および151の焦点距離は図1の測定体積115とは異なる位置の図2の測定体積215を収めるように調節してあり、検出器150はその光軸が測定体積215を通るように図1とは異なる角度で取り付けられている。

【0027】図2に示した結合構成の利点は、反射してきた走査ビーム230との間で比較的小さい角度を成す散乱光235を検出器150で集光することである。散乱角の小さい前方散乱光は後方散乱光よりも信号対雑音比が通常高い。すなわち、いかなる波長においても直径0.2nm乃至10nmの微粒子については前方散乱光の強度のほうが後方散乱光の強度よりも1桁以上大きいからである。ビームダンプ240は、それを用いる場合は非散乱光の方向にしたがって配置を変更し、図1のビームダンプ140と同じ要件を満たす内側表面および外側表面を備えたもので構成する。製造装置200における微粒子センサの結合構成では強度レベルの高い前方散乱光を用いているのでビームダンプは不要となる場合もある。

【0028】光検出器158は集光された走査ビームの

波長の光の強度を表すアナログ信号を発生する。反応室110内の背景光のために、このアナログ信号には変動の比較的小さい背景雑音DC成分が加わる。測定体積215を微粒子が通過するとき、その微粒子と走査ビーム130との間の相互作用によってその背景雑音DC成分以上の一連のパルスが発生する。信号処理装置170内の帯域フィルタがそのアナログ信号から前記背景雑音DC成分を除去する。

【0029】図3、図4および図5は光検出器158からのアナログ信号を渡波して得られた例示信号300、400および500をそれぞれ示す。信号300、400および500は製造プロセスが進行中でない反応室内の直径0.8nmの微粒子による後方散乱光の特性を示す。この0.8nmの微粒子からのパルスの各々についての信号対雑音比(SNR)はかなり高い。このSNRは、より低い強度レベルの散乱光を生じ検出力信号レベルも低いより小さい微粒子については小さい値となる。また、反応室内のプロセスは光レベルでの雑音および電子回路レベルでの雑音を大きくし、より小さな微粒子の検出をより困難にする可能性がある。

【0030】測定体積115からの散乱光は走査ビーム130が検出可能な微粒子を照射する度ごとにパルスを発生させる。実施例では測定体積115における走査ビーム130の走査速度は通常の微粒子の速度よりもずっと大きく、したがって微粒子が測定体積115内を通過する期間にその微粒子は走査ビーム130によって2回以上照射される。したがって、測定体積115を通過中の通常の微粒子は、複数回照射およびそれに伴う複数パルスを含む散乱事象の原因となる。図3の信号300は通常の単一微粒子散乱事象の一部に関する信号を図解している。単一微粒子散乱事象のこの特徴により誤りの微粒子計数を減らすかまたは解消する。すなわち、複数回パルス出力の特徴を呈しない散乱事象は計数対象から除外できるからである。

【0031】パルス相互間の時間間隔が走査範囲限界に対する微粒子の角度方向位置を表す。微粒子が走査範囲の一方の端部にある場合は、走査ビーム130がその微粒子の照射から最寄りの走査限界に達しそこに戻るまでの所要時間がその微粒子の照射から遠いほうの走査限界に達しそこに戻るまでの所要時間よりも短くなる。このように、測定体積115の端部近傍にある微粒子は間隔の狭いパルス対を生ずる。図4は測定体積115の一方の端部に比較的近い微粒子について発生した信号400を示す。微粒子が測定体積115の中心にある場合はパルスの間隔は等しくなる。したがって、走査方向沿いの微粒子の位置はパルス相互間の時間間隔から算定できる。理論的には、走査方向沿いの微粒子の速度も互いに引き続くパルス対の間隔の変動幅から算定できる。しかし、それら間隔の変動幅は走査ビーム130の直径を走査速度で割った値のオーダーになるので、測定は難

しい。

【0032】上記パルスの各々は走査ビーム130の散乱光の強度および微粒子の散乱特性に特有の波形を有する。上記実施例では走査ビーム130の断面強度分布はガウス分布であり、したがって各微粒子による散乱光成分の強度もガウス分布を示す。微粒子が測定体積115に入り、通過し、そこから出るに伴って、その微粒子についての一連のパルスのピーク値もビーム断面内の強度のガウス分布に従う。図3では個々のパルスのガウス分布形状を表すには時間軸上の精細度が不十分であるが、信号300の中のパルスのピーク値にガウス分布310が合致することが示されている。

【0033】信号処理装置170は各パルスを検出し、各パルスについて振幅ピーク値を算定し、各パルスのパルス幅を算定し、散乱事象の終了を特定する。図6は信号処理装置170の一例のブロック図を示す。信号処理装置170内の弁別器630の弁別閾値は信号分析のために光検出器158からのアナログ信号の背景雑音成分レベル以上の値に設定してある。弁別器630はアナログ信号が予め設定可能なレベルを超えたときパルスとして検出するレベルトリガデバイスである。弁別器630は、上記パルスを検出すると、コンピュータインタフェース670、ピーク検出器640および事象検出論理回路620への信号を発生する。コンピュータインタフェース670は各パルスの検出ごとにコンピュータ180に割込み信号を送り、コンピュータ180はそれら割込みの各々をパルス発生時間として認識する。一つの散乱事象で検出された第1のピークに対応する割込みの時点で、信号処理装置インタフェースカードのクロックがスタートする。新たなピーク値の検出の度ごとにそのクロックから時間が読み取られてコンピュータ180に伝達される。信号処理装置170からコンピュータ180への割込みはシステム内の他のデータ処理よりも優先的に処理し、散乱事象を確実に捕捉するようにする。

【0034】上記パルスの各々について、信号処理装置170はそのパルスの振幅ピーク値、パルス幅および発生時の走査ビーム130の動きの向きを表す情報をコンピュータ180に供給する。パルス振幅ピーク値を算定するために、弁別器630はアナログ信号ピーク電圧値の検出および保持を行うピーク値検出器640を活性化する。A-D変換器650は上記ピーク電圧値をデジタル値に変換しそのデジタル値をコンピュータインタフェース670がコンピュータ180に送る。アナログ信号のピーク値検出器は周知であり種々のメーカーから市販されている。

【0035】各パルスのパルス幅を算定するために、ピーク値検出器640に結合したパルス波形分析器660でパルス電圧ピーク値の80%および60%の時点を決る。パルス波形分析器660はそれら時点で時間-振幅変換器680を起動および停止さ



せ、変換器680からの電圧TOFが上記パルス電圧ピーク値の80%の時点と60%の時点との間の時間長に比例するようにする。電圧TOFは微粒子が走査ビーム130の中にある「飛行時間」にも比例する。すなわち、走査ビーム130の断面内強度のガウス分布の上記80%の点と60%の点との間を横切る時間と、走査ビーム130で微粒子を走査し終えるに必要な合計時間との割合は一定であるからである。A-D変換器650は電圧TOFをデジタル値に変換し、そのデジタル値をコンピュータインタフェース670がコンピュータ180に供給する。

【0036】弁別器630、ピーク値検出器640、パルス分析器660、時間-電圧変換器680、A-D変換器650、およびコンピュータインタフェース670の機能は本願出願人インサイテック社から市販されているPCSV型単一微粒子計数信号処理装置で達成できる。信号処理装置170は走査ビーム130の走査方向の特定も行い、一つの微粒子散乱事象関連の一連のパルスの終わりを特定する。実施例では光送出器120用の駆動電子回路610は方形波信号を発生し、その方形波のレベルで反射鏡122および走査ビームの動きの向きを表すようにする、この方形波信号に応答して、A-D変換器650およびコンピュータインタフェース670はパルス検出時の方形波のレベルを表すビットをコンピュータ180に供給する。事象検出論理回路620は弁別器630および駆動用電子回路610に接続され、散乱事象の終了を特定する。弁別器630が駆動用電子回路610からの方形波信号の半分の期間内にパルスを検出しなかった場合は事象検出論理回路620がコンピュータインタフェース670経由で事象終了信号EOEをコンピュータ180に送る。

【0037】この事象終了信号のあとに割込みがない場合は、コンピュータ180は散乱事象中の全パルスからの情報を処理して、その散乱事象の原因となった微粒子の動径方向位置、角度方向位置、動径方向速度成分、走査平面と垂直な方向の速度成分を算定する。また、コンピュータ180は上記「飛行時間」データに基づきその微粒子の走査反射鏡122に対する動径方向位置を算定する。振幅ピーク値最大値を呈するパルスについては、走査ビーム130の中心部がその微粒子を横切ったのであり、走査ビーム130を基準にしてみると、複数の微粒子が走査ビームの断面直径を横切って動いたのである。したがって、微粒子に対する走査ビーム130の速度は微粒子の速度に比べて大きいので相対速度は動径方向距離（すなわちその微粒子と走査用反射鏡122の回転軸との間の距離）とその回転軸のまわりの走査ビーム130の角速度との積にほぼ等しい。したがって、その微粒子までの動径距離は走査ビーム130の幅を上記飛行時間および走査ビーム130の角速度で割った値から算定する。その微粒子の動径方向速度は二つのパルスの

動径方向位置の変動をパルス間時間差で割った値から算定する。

【0038】コンピュータ180は走査器の走査状態とパルス間の間隔とから微粒子の角度方向（円周方向）位置を算定する。より詳しく述べると、測定体積115の端部からの角度方向距離は走査ビーム130の角速度とパルス相互間の時間間隔の半分との積に等しい。角度方向距離の算定のための基準端点は走査器駆動用電子回路610の出力から判定される走査の向きで定める。

【0039】検出された微粒子の角度方向および動径方向位置はその微粒子に起因する欠陥を含み得るウェーハ105上の点を特定する。この発明の一つの側面によると、その微粒子について特定された点は、ウェーハ105の表面走査の際に試験のためにとくに標的にすることができる。これによって製造工程中の欠陥の早期検出の可能性が向上する。

【0040】微粒子の大きさおよび走査平面と垂直な方向の速度を算定するために、コンピュータ180は個々のパルスのピーク値をガウス分布に合致させる。図3、図4および図5は信号300、400および500それぞれについてのガウス分布合致値310、410および510を示す。ガウス分布合致値の最大値は微粒子直径と散乱光強度とを関連づけた較正済み応答関数を用いて微粒子直径に対しマップに描くことができる。より詳細にいうと、周知のミー散乱理論により微粒子粒度と散乱光強度との間の関係を特定できる。散乱光強度と微粒子粒度との上記関係の説明は、例えば、ディー、ジェイ、ホルヴ著「原位置測定のための微粒子の光学的粒度計測-第1部 (Optical Particle Sizing for in situ measurements- Part 1)」、Applied Optics 誌18(10):1632(1979)、ディー、ジェイ、ホルヴ著「原位置測定のための微粒子の光学的粒度計測-第2部」、Applied Optics 誌18(10):1646(1979)、およびジー、ミー、著Ann. d. Physik 誌、30(4)377(1908)所載論文に記載されている。散乱光強度と微粒子粒度との間の理論的關係は、(1)入力相対的強度、(2)光散乱の幾何学的特徴、(3)レーザ出力光の波長、および(4)微粒子の屈折率に主として左右される。特定システムごとに、光散乱発生幾何学的特徴とレーザ出力光波長とは一定である。既知直径の微粒子を用いた較正によって、理論値関連の微粒子粒度と光強度正規化値とを既知直径の微粒子についてのガウス分布合致値の実測値にシフトさせ、または合致させる。

【0041】微粒子センサの正しい較正は設定した走査ビームの光強度に依存する。しかし、ビーム光強度実効値は前回の清掃以後の窓の汚れのために変動し得る。その変動をモニタするために一つ以上のビーム光検出ダイオードの出力を各測定の開始時に読み取る。ビーム光検出ダイオード（または光検出器）は光送出器120内で

窓112からの散乱光を検出できるように走査ビーム130近傍に配置するか前方散乱光検出型の構成の場合は未散乱光の経路に配置する。このビーム光検出ダイオードの検出する光の量は窓の汚れによって変動する。より詳細にいうと、光送出器120内のビーム光検出ダイオードの出力は増加し、非散乱光の光路にある光検出ダイオードの出力は窓112の汚れが進むにつれて減少する。これらビーム光検出ダイオードの出力とビーム光強度との関係は実験的に算定する。ビーム光検出ダイオードの出力に基づいて、コンピュータ180はレーザ126基準値から変動したか否かを算定する。一つの実施例では、コンピュータ180はレーザ126からのレーザ光出力電力や光電子増倍管158の励起電圧を制御し、光強度実効値の変動を捕っている。

【0042】ガウス分布合致値上で最大値の13% ( $1/e^2$ ) の点の間の間隔は走査平面と垂直な軸の方向沿いに走査ビーム130のくびれ目直径に等しい距離だけ微粒子が動くための所要時間である(くびれ目直径は強度最大値の約13% ( $1/e^2$ ) までビーム光強度が低下する点の直径である)。コンピュータ180は  $1/e^2$  ビーム直径をその時間で割って走査平面と垂直な方向の微粒子の速度の成分を算定する。図5は測定体積115を図3および図4にそれぞれ示した信号300および400の原因微粒子よりも速い速度で横切った微粒子に起因する幅狭のガウス分布合致値510を有する信号500を示す。

【0043】特定の実施例を参照してこの発明を上述べてきたが、この説明はこの発明の応用の一つの例にすぎず、限定と解釈すべきではない。上述の説明は単一の走査ビームの利用を前提としているが複数の走査ビームと複数の光検出器とを共通の走査器および単一の信号処理装置について多重化して用いることもできる。この発明の諸特徴の上記以外の多様な適合理化と変形とを添付の

請求の範囲記載の本発明の範囲から逸脱することなく実施できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一つの実施例による原位置微粒子センサの概略図。

【図2】この発明のもう一つの実施例による原位置微粒子センサの概略図。

【図3】図1および図2に示したような微粒子センサの測定体積の中を通過する微粒子の形成する通常の散乱光の強度の時間変化を示すグラフ。

【図4】図1および図2に示したような微粒子センサの測定体積の中を通過する微粒子の形成する通常の散乱光の強度の時間変化を示すグラフ。

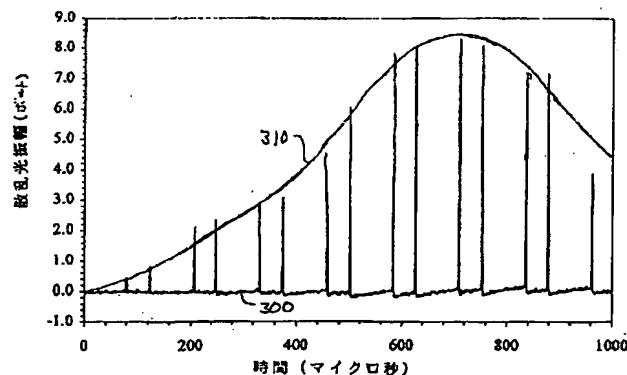
【図5】図1および図2に示したような微粒子センサの測定体積の中を通過する微粒子の形成する通常の散乱光の強度の時間変化を示すグラフ。

【図6】図1または図2の微粒子センサのための電子回路のブロック図。

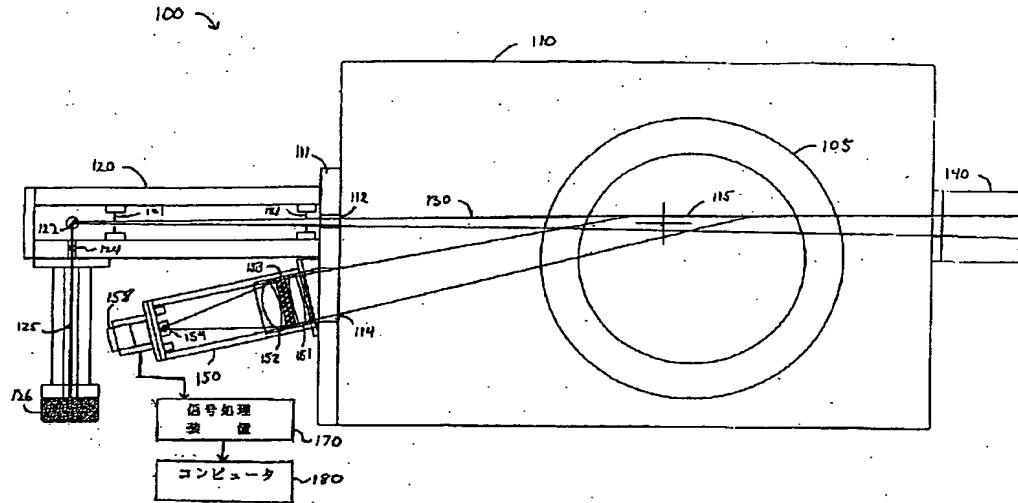
#### 【符号の説明】

100, 200	半導体製造装置
110	反応室
105	ウェーハ
120	光送出器
126	レーザ
122	走査用反射鏡
130	走査ビーム
115, 215	測定体積
151, 152	集束レンズ
158	光検出器
140, 240	ビームダンプ
170	信号処理装置
180	コンピュータ
270	反射鏡

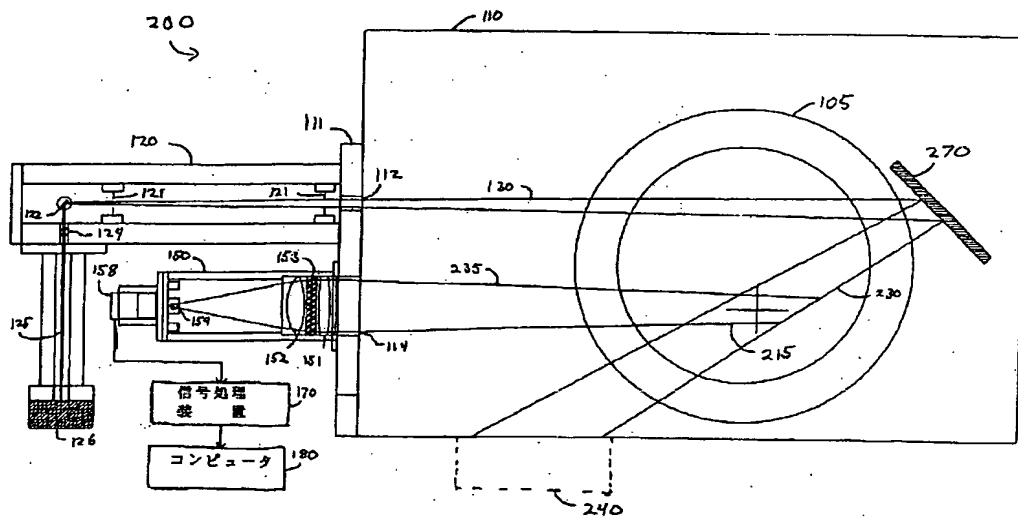
【図3】



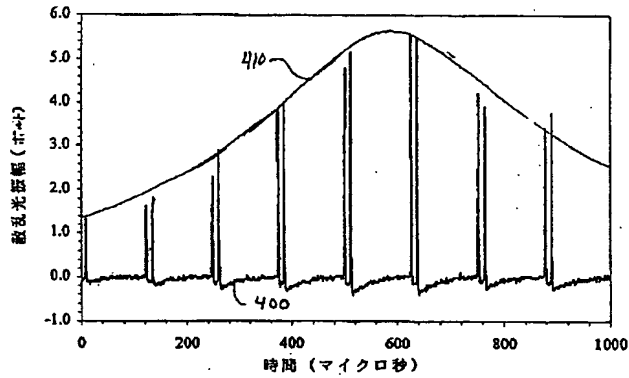
【図1】



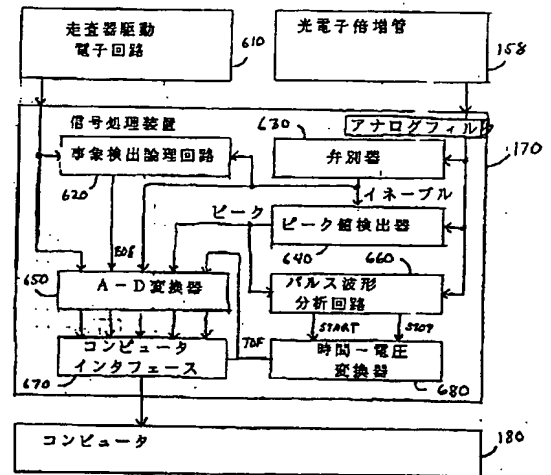
【図2】



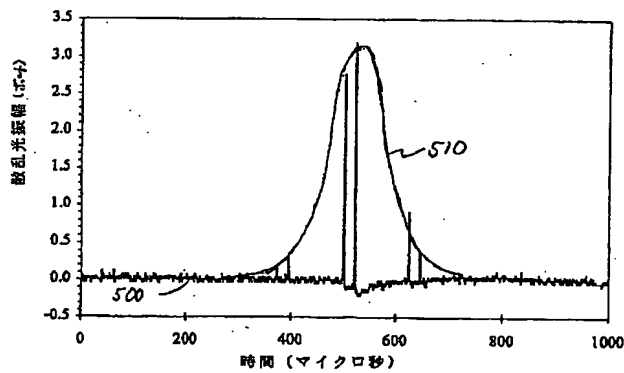
【図4】



【図6】



【図5】



【手続補正書】

【提出日】平成9年12月2日

【手続補正3】

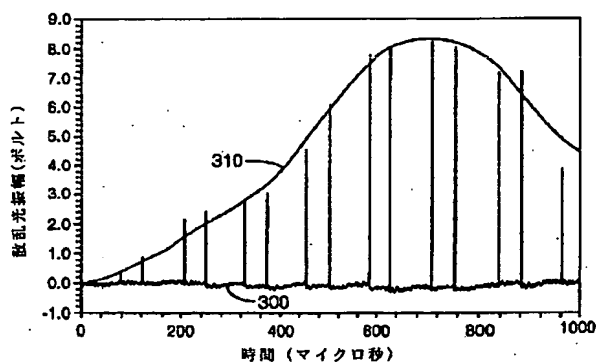
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

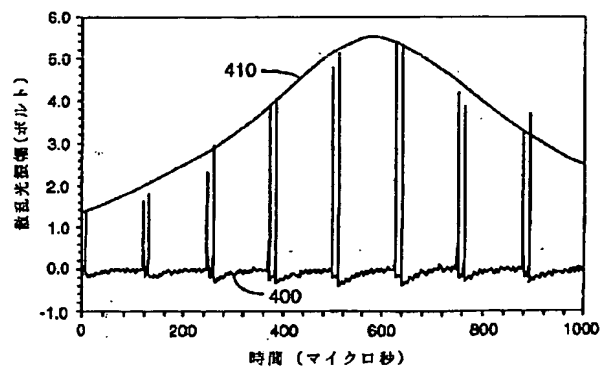
【補正方法】変更

【補正内容】

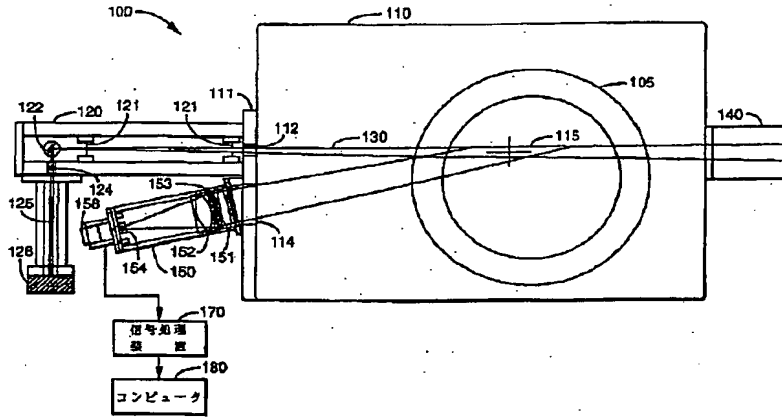
【図3】



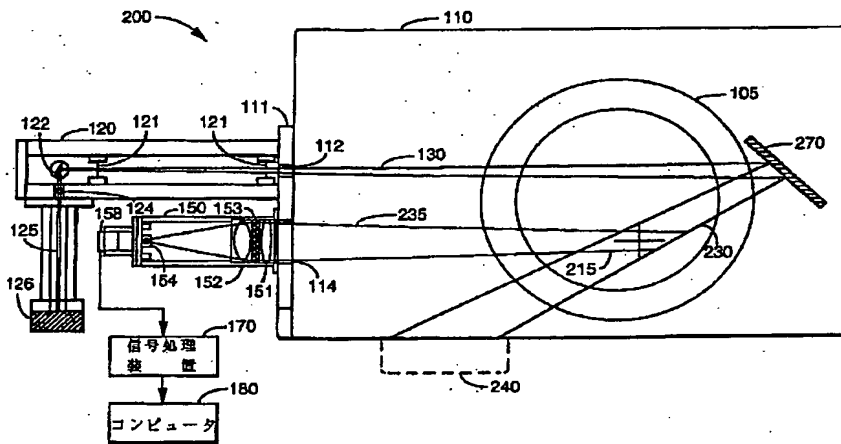
【図4】



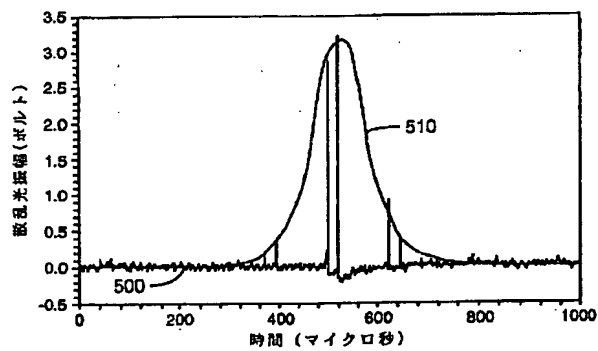
【図1】



【図2】



【図5】



【図6】

